

Р.Г. Геворгиз

Использование микроводорослей в сельском хозяйстве



Институт биологии южных морей имени А.О.Ковалевского РАН

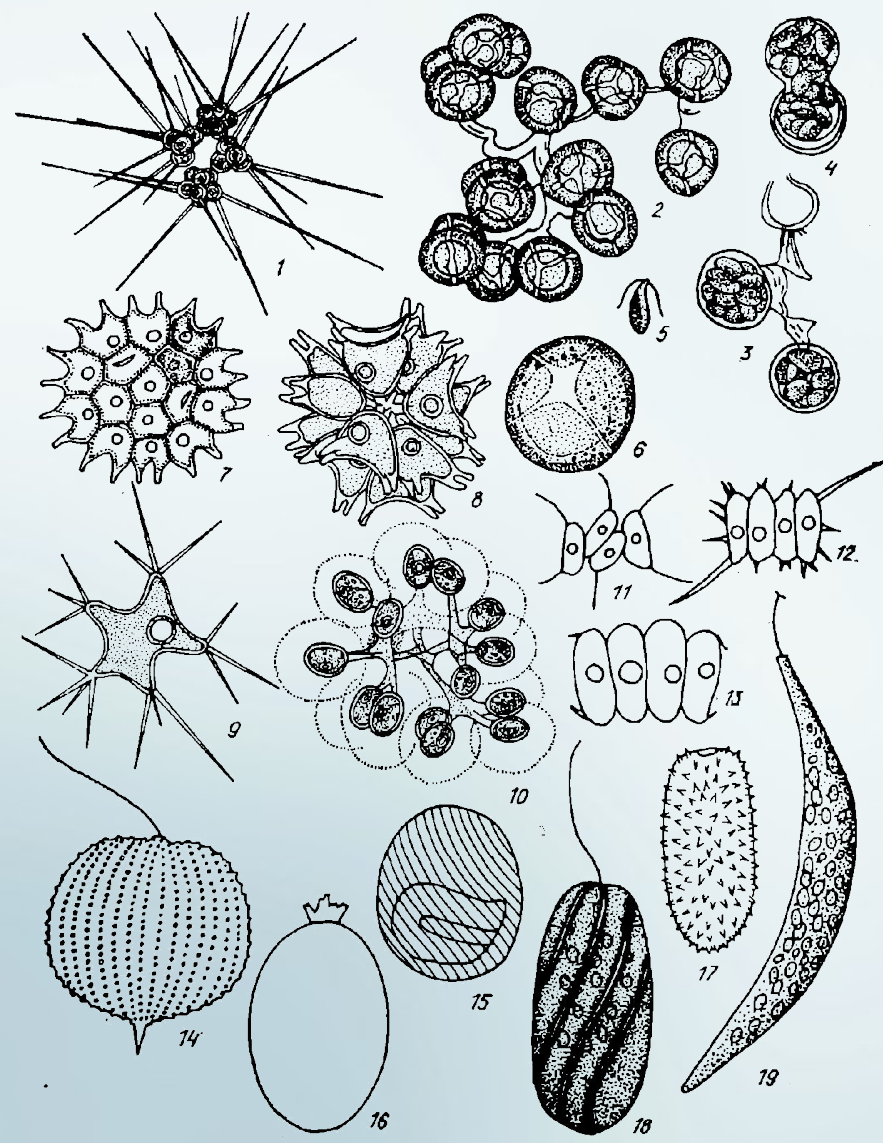
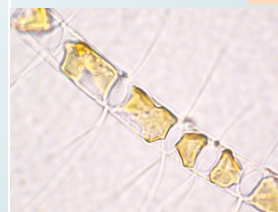
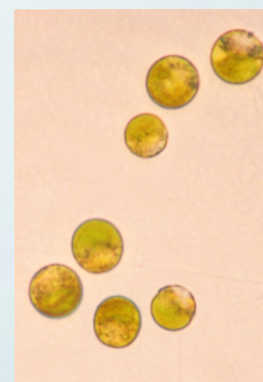
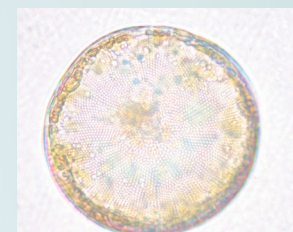
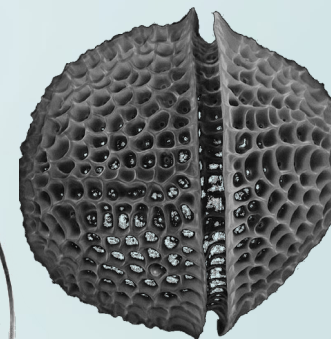
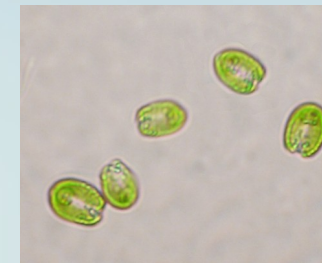
Отдел биотехнологий и фиторесурсов
лаборатория управления биосинтезом
микроводорослей

г. Севастополь



Объект МикроВодоросли

от 0.001 до 0.08 мм



Объект МикроВодоросли

от 0.001 до 0.08 мм
различные формы клеток и
типы колоний



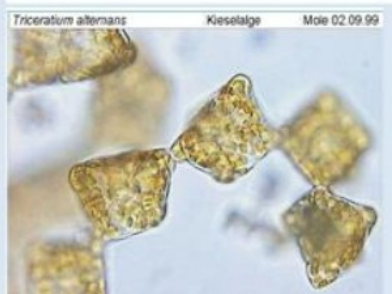
Streptotheca thamensis Kieselalge Mole 16.09.99



Coscinodiscus sp. Kieselalge Mole 16.09.99



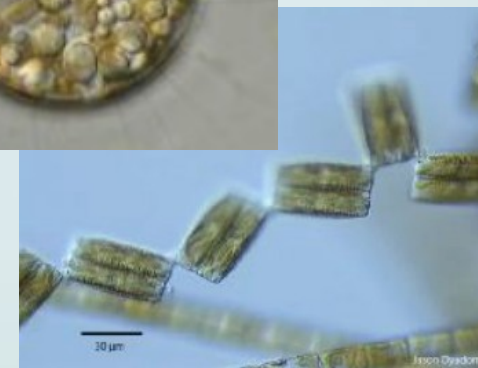
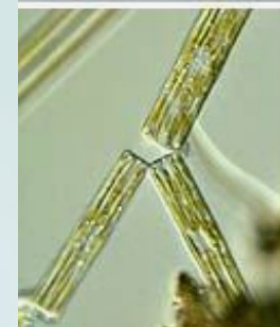
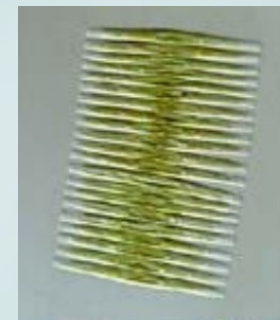
Chaetoceros debilis Kieselalge Mole 02.09.99



Triceratium altmanni Kieselalge Mole 02.09.99



Eucampia zoodiacus Kieselalge Mole 02.06.99



Среда обитания: моря и океаны, реки и озера



Среда обитания: гиперсолёные озера



Среда обитания:

почва, влажные скалы,
гейзеры, ледники

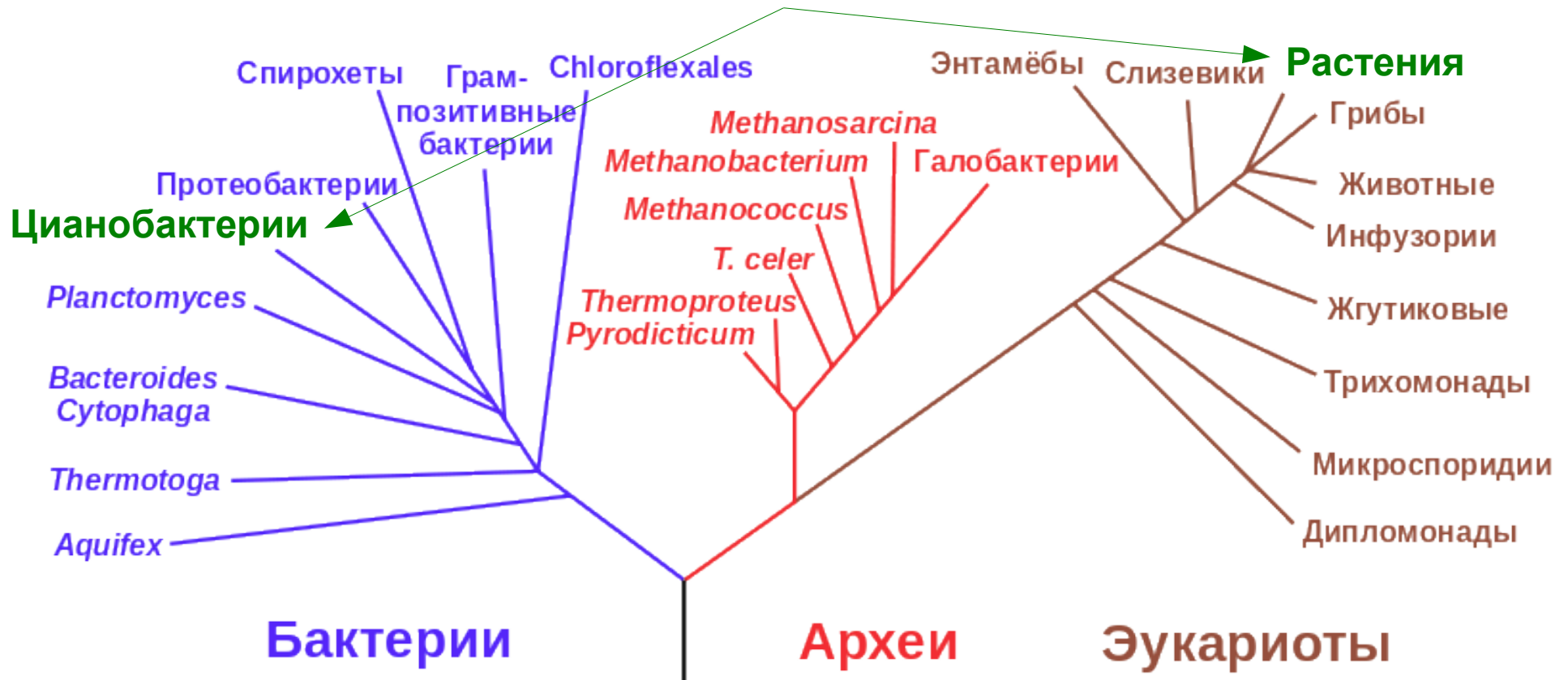


Chlamydomonas nivalis,
заповедник «Хакасский»



Trentepohlia aurea,
Крым, лес на мысе Айя

Микроводоросли



– группа микроорганизмов способных к оксигенному фотосинтезу, обитающих преимущественно в водной среде. Эта группа объединяет как прокариотических (*Cyanophyta*), так и эукариотических (*Chlorophyta*, *Chrysophyta* и пр.) представителей низших фотоавтотрофов. Термин “микроводоросли” рассматривается как биологическая категория, но не как таксономическая.

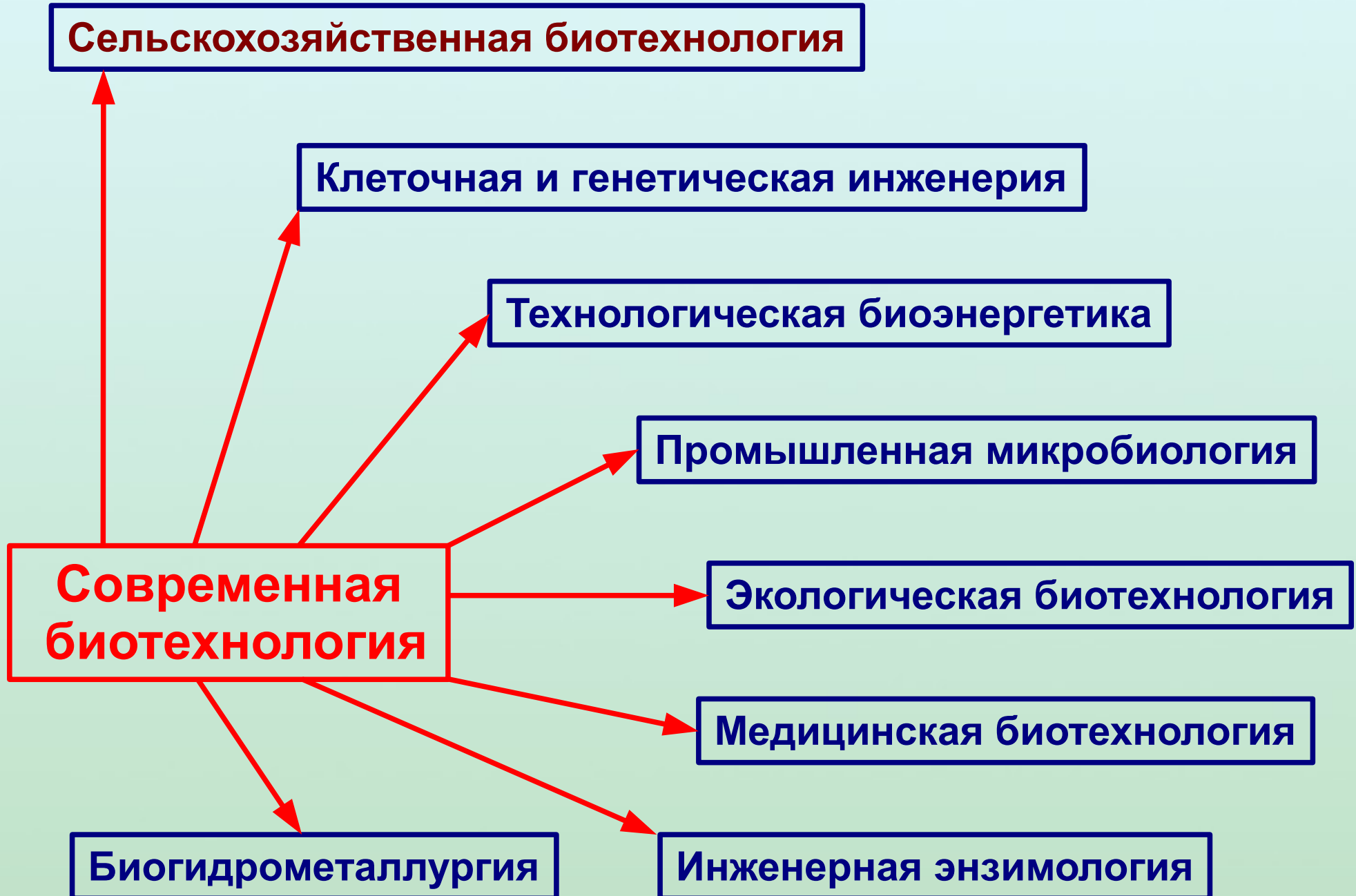
Пищевые цепи

Микроводоросли представляют собой первый трофический уровень, как на море, так и на суше. Морские микроводоросли являются источником пищи непосредственно или через промежуточные звенья для многих обитателей моря (зоопланктона, nekтона и т.д.). На суше почвенные микроводоросли на первых этапах почвообразования участвуют в создании первичного гумуса. Для высших растений служат источником витаминов, гормонов, липидов. Кроме того, они способны фиксировать атмосферный азот, поэтому обогащают почву органическими азотсодержащими соединениями

Пищевые цепи моря и суши



Применение микроводорослей:



МИКРОВОДОРОСЛИ и СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Аквакультура

Индикаторы почв

Борьба с
насекомыми

Альголизация почв

Азотфиксация

Сидерация почв

Растениеводство

Удобрения

Предпосевная обработка семян

Очистка стоков

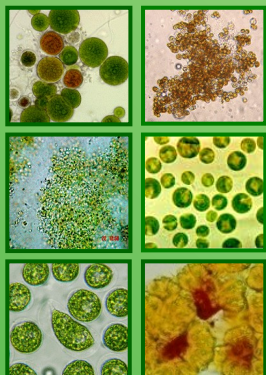
Животноводство

Кормовые добавки

Микроводоросли –
источник минералов,
белков, витаминов,
аминокислот,
микроэлементов и пр.



МИКРОВОДОРОСЛИ - ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ СЫРЬЕВОЙ РЕСУРС ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ



Из >80000 известных видов реально используется в экономике не более 40



Майонезы, десерты, напитки с астаксантином



Экспериментальные образцы сырья для производства БАД и функциональных продуктов питания

БАВ МЕДИЦИНСКОГО И ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ:

КАРОТИНОИДЫ,
 ω -3 и ω -6 ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ,
АНТИОКСИДАНТЫ,
ПРОТИВООПУХОЛЕВЫЕ, АНТИВИРУСНЫЕ, БАКТЕРИО- И ФУНГИЦИДНЫЕ ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ



КОРМА для АКВАКУЛЬТУРЫ, ПТИЦЕВОДСТВА, ЖИВОТНОВОДСТВА



АГРОХИМИКАТЫ:
УДОБРЕНИЯ, СТИМУЛЯТОРЫ РОСТА



ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ:
БИОДИЗЕЛЬ, МЕТАН, ВОДОРОД, ЭТАНОЛ



Клинически доказанные положительные эффекты каротиноидов при профилактике и лечении ряда тяжелых системных заболеваний

Рак (желудка, молочной железы, простаты, печени, фибросаркома, лейкемия);

Хронические воспалительные процессы (ревматоидный артрит, колит, сепсис);

Метаболические синдромы (астма, диабет);

Сердечно-сосудистые заболевания (гипертония, атеросклероз, инсульт, инфаркт)

Желудочно-кишечные заболевания (гастрит, язвы желудка и 12-перстной кишки);

Заболевания печени (жировое перерождение, гепатиты, химические поражения печени);

Нейродегенеративные заболевания (болезни Паркинсона и Альцгеймера);

Глазные заболевания (катаракта, глаукома, конъюнктивиты);

Заболевания кожи (заболевания, связанные повреждением УФ-излучением, рак кожи).

(Yuan et al. 2011)

O=C1OC(O)C(O)C(O)C1O[illegible]O=C1OC(O)C(O)C(O)C1O[illegible][illegible]

Бета-каротин

Геворгиз Р.Г., и др., 2018

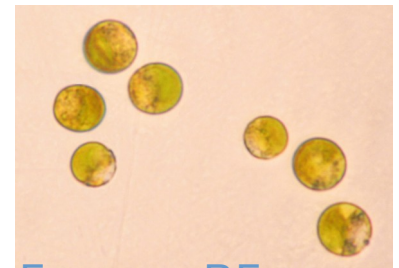
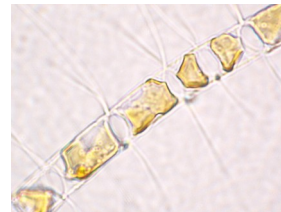
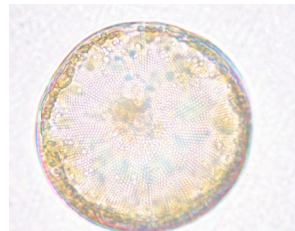
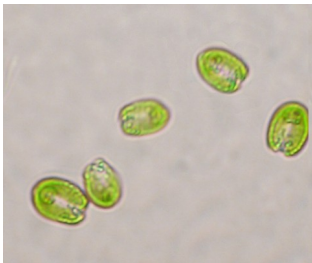
МИКРОВОДОРОСЛИ: уникальность и ценность

Микроводоросли – древнейшие одноклеточные фотосинтезирующие микроорганизмы. Обитают в водной среде, а также в почве, во льдах, на поверхности скал и т.д.

УНИКАЛЬНОСТЬ:

1. **Высокая скорость роста;**
2. Потенциал использования в качестве **продуцентов ценных веществ:** фотосинтетических пигментов, **витаминов, полиненасыщенных жирных кислот** и ряда других **органических соединений** (белков, жиров, углеводов), необходимых в медицине, косметологии, сельском хозяйстве и т.д.

Науке известно более **100 000 видов** микроводорослей, но в промышленных масштабах культивируются около **15-20 видов**. В РФ в промышленных масштабах культивируют **2 вида** микроводорослей:
спирулина (*Spirulina platensis*) и
хлорелла (*Chlorella vulgaris*)

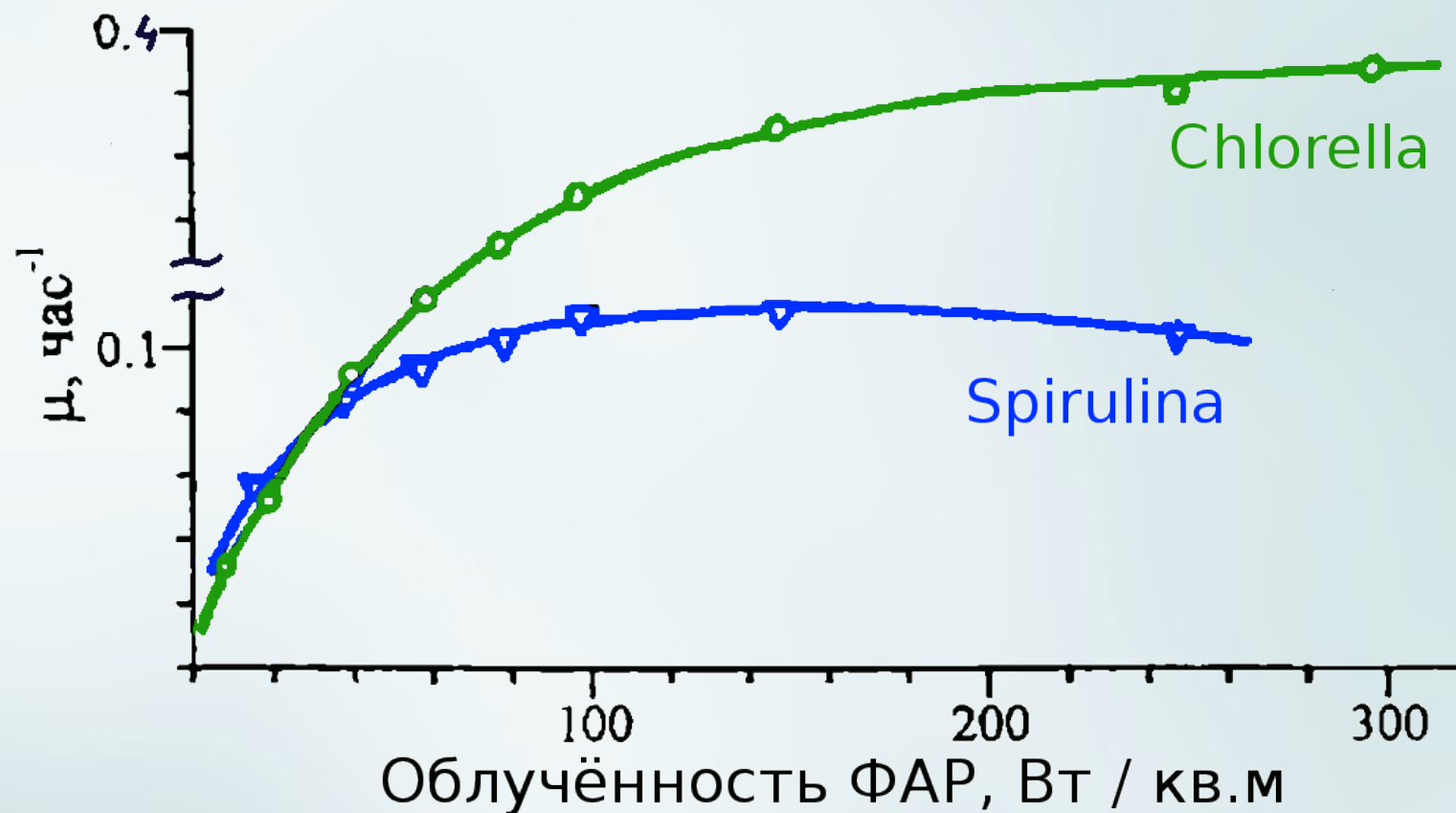


Особенности метаболизма у микроводорослей

1. **Скорость роста микроводорослей** на порядок и более превышает скорость роста высших растений;
2. **Ангидриобиоз (анабиоз)** – обратимая приостановка всех процессов метаболизма на неограниченный промежуток времени в неблагоприятных условиях;
3. **Уникальный биохимический состав** позволяет выживать и вегетировать в самых неблагоприятных местах обитания;
4. **Способность к фотогетеротрофности, к C3 и к C4 фотосинтезу** позволяет эффективно утилизировать углерод при критически малых и высоких концентрациях в среде обитания;
5. **Азотфиксация;**
6. **Способность аккумуляции и утилизации** различных веществ тяжелых и благородных металлов, ксенобиотиков и токсинов, а также многих органических соединений;
7. **Симбиотические отношения**

Особенности метаболизма у микроводорослей.

1. Скорость роста.

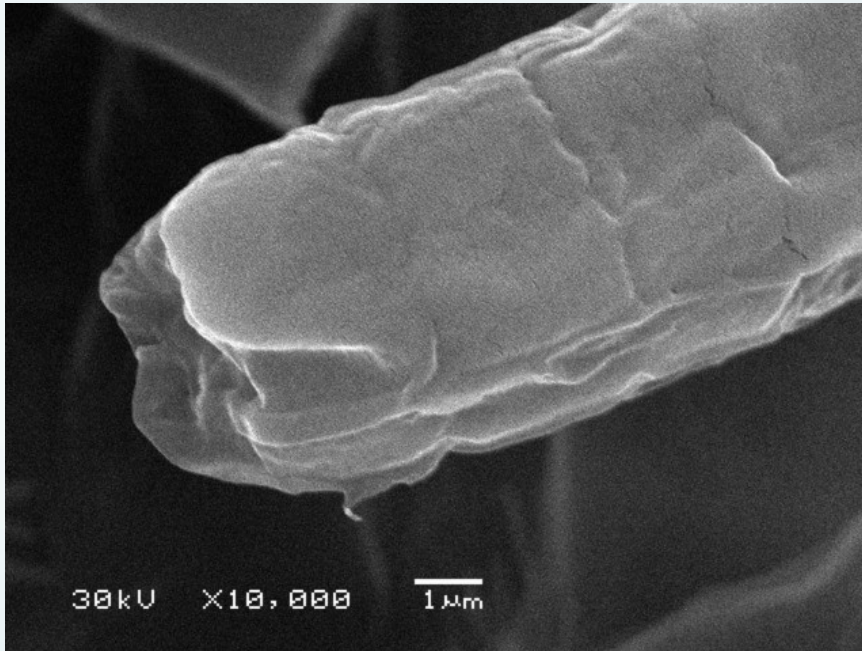


В проточной культуре удельная скорость роста **спирулины** достигает **0,105 час⁻¹**, т.е. каждые 9 часов биомасса спирулины удваивается.

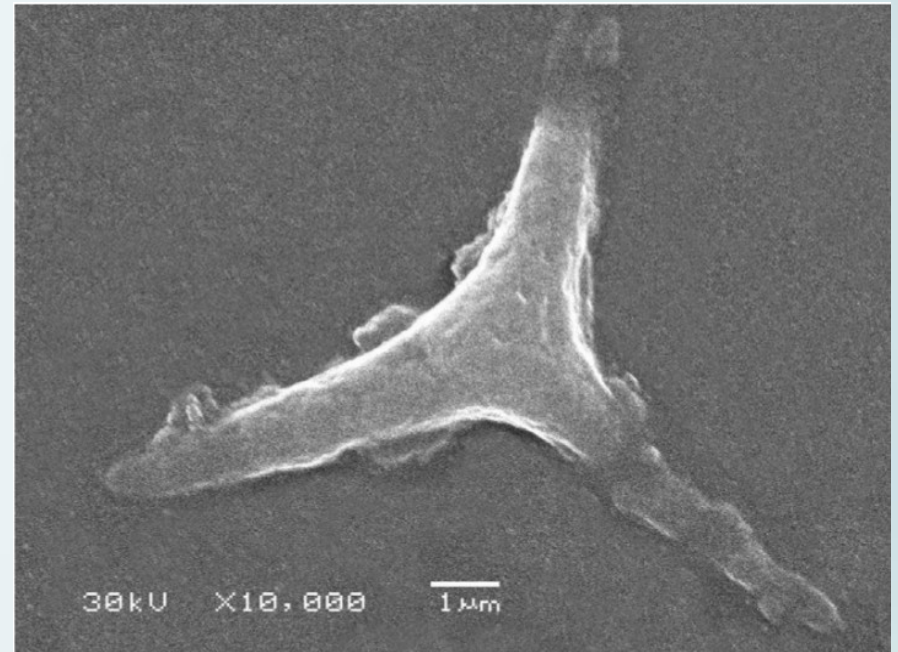
Хлорелла характеризуется ещё большей удельной скоростью роста — **0.38-0.39 час⁻¹**, т.е. удвоение биомассы хлореллы происходит каждые 3 часа

Особенности метаболизма у микроводорослей.

2. Ангидробиоз (анабиоз).



Spirulina



Phaeodactylum

Анабиоз – обратимое состояние биологических систем, при котором метаболизм предельно заторможен или приостановлен.

Ангидробиоз – состояние анабиоза, вызванное значительными потерями воды путём испарения. Термин предложен в 1891 г.

Особенности метаболизма у микроводорослей.

2. Ангидробиоз.

В состоянии ангидробиоза микроводоросли способны находится неограниченно долгое время. В коллекции ангидробиозных культур ИнБЮМ спирулина хранится более 10 лет.

В стрессовых условиях, при обезвоживании **метаболизм микроводорослей направлен на синтез полезных веществ**, которые обеспечивают выживание в неблагоприятной среде.



Пример.
Нами обнаружен пигмент-белковый комплекс, который образуется в фотосинтетическом аппарате спирулины при переходе в состояние ангидробиоза.

Образование комплекса позволяет выделять из биомассы спирулины ценные каротиноиды без методов хроматографии

Особенности метаболизма у микроводорослей.

3. Уникальный биохимический состав.

Углеводы

Чрезвычайное разнообразие углеводов микроводорослей представлено как моносахарами, дисахарами, полиоксиспиртами, гликозидами, полисахаридами др, так и их производными. Многие соединения являются продуктами исключительно метаболизма микроводорослей. Значительную долю углеводов микроводорослей составляют экзогенные водорастворимые углеводы. В отличие от углеводов высших растений углеводы микроводорослей характеризуются способностью к комплексообразованию.

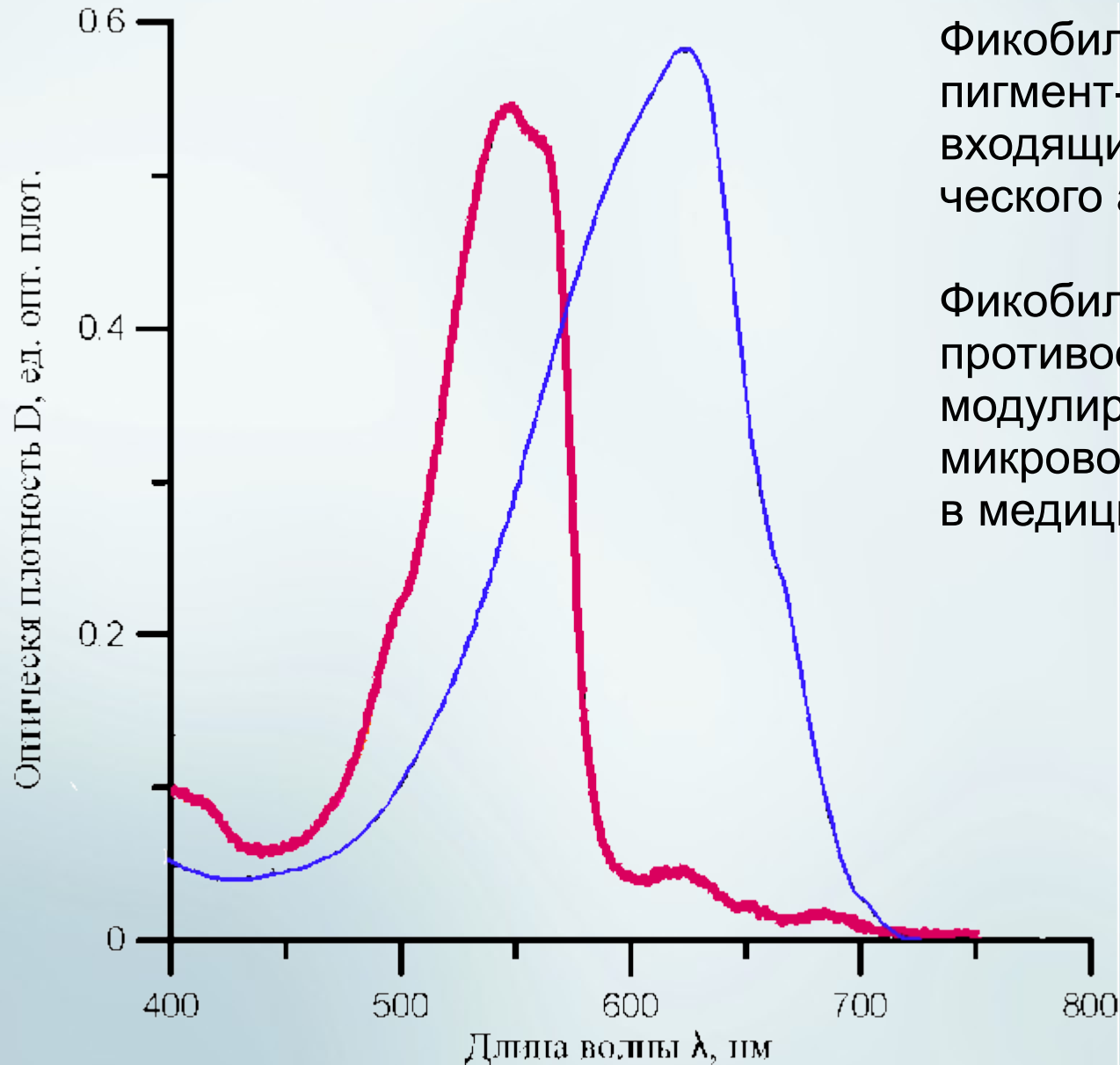
Углеводы микроводорослей – биологически активные вещества. Примером может служить кислый полисахарид хлореллы хлон А, который обладает противоопухолевой активностью, стимулирует образование интерферона, в значительной степени обладает защитной активностью в отношении вируса гриппа.

Экзогенные углеводы влияют на рост, размножение и многие метаболические процессы клеток. Глюкоза и галактоза хлореллы усиливают рост, стимулируют клеточное деление. Сахароза спироулины стимулирует светозависимый рост и повышает урожай.

Особенности метаболизма у микроводорослей.

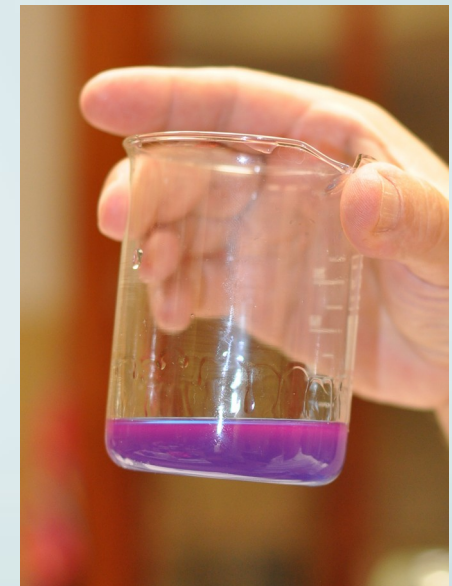
3. Уникальный биохимический состав.

Белки



Фикобилипротеины – уникальные пигмент-белковые комплексы, входящие в состав фотосинтетического аппарата микроводорослей

Фикобилипротеины обладают противоопухолевым и иммуномодулирующим свойствами, поэтому микроводоросли широко используют в медицине



Особенности метаболизма у микроводорослей.

3. Уникальный биохимический состав.

Липиды

В числе биологически активных соединений водорослей значительный интерес представляют липиды как соединения, не только выполняющие прямую регулярную роль в функционировании клеточных мембран, но и непосредственно связанные с метаболическими процессами: через глицерин – с обменом углеводов, через жирные кислоты – с циклом ди- и трикарбоновых кислот, а также с биосинтезом витаминов группы D. Немаловажную роль играют липиды и их производные в входящие в состав **экзометаболитов**: полиненасыщенные жирные кислоты и стерины.

Высокая реакционная способность липидов проявляется как в альго- и бактерицидном эффекте, так и в ихтиоцидной активности. Показано, что экстракт из *Chatomorpha minima* убивал карпов за 120 минут при концентрации 0.5 мкг/л, а экзометаболиты зелёной водоросли *Westella botryodes* подавляют рост дрожжей.

К наиболее ценным метаболитам микроводорослей относят полиненасыщенные жирные кислоты. Уникальным разнообразием ПНЖК характеризуются представители морского фитопланктона. Многие длинноцепочечные кислоты синтезируются только клетками микроводорослей.

Особенности метаболизма у микроводорослей.

3. Уникальный биохимический состав.

Липиды у морских диатомей

Липиды и жирные кислоты		Содержание, %
Насыщенные жирные кислоты	<u>14:0</u>	4,18±0,06
	<u>15:0</u>	0,99±0,03
	<u>16:0</u>	29,9 ±0,33
	<u>17:0</u>	0,87±0,08
	<u>18:0</u>	5,32 ±0,15
<u>Мононенасыщенные</u> жирные кислоты	<u>16:1(n-7)</u>	34,28 ±0,48
	<u>17:1(n-7)</u>	3,49±0,12
<u>Полиненасыщенные</u> жирные кислоты	<u>18:2(n-6)</u>	3,27±0,17
	<u>18:3(n-6)</u>	1.41±0,14
	<u>20:4(n-6)</u>	8,08±0,38
	<u>20:5(n-3)</u>	8,22±0,33



Особенности метаболизма у микроводорослей.

3. Уникальный биохимический состав.

Витамины

Особой группой биологически активных веществ являются витамины. Они в ничтожных концентрациях катализируют ферментативные процессы. Большинство витаминов являются коферментами или их предшественниками.

Как автотрофные организмы микроводоросли способны синтезировать самые разнообразные витамины, типичные для растений: витамины группы А, В, С, Е, К, Н и др.

К числу важных особенностей различных групп водорослей относят их способность выделять витамины в окружающую среду. Например, среди внеклеточных продуктов *Chlorella vulgaris* обнаружены инозит, биотин, пантотеновая кислота, тиамин, пиридоксин, никотиновая кислота, п-мнобензольная кислота, витамин В12.

Интенсивность накопления витаминов в культуральной среде определяется видовыми особенностями культуры микроводорослей и условиями культивирования.

Содержание витаминов у некоторых микроводорослей, мг% сырой массы

Водоросли	Витамин С	Витамин Е	Каротин
Синезеленые			
<i>Microcystis aeruginosa</i>	45,0—263,0	5,0—18,5	1,5—16,0
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	40,0—95,0	5,3—24,3	—
<i>Oscillatoria planctonica</i>	106,0—247,0	15,0—72,0	—
Вольвоксовые			
<i>Volvox aureus</i>	6,6—22,6	12,5—20,0	—
<i>Pandorina morum</i>	37,0	6,5	12,0
Протококковые			
<i>Chlorella vulgaris</i>	20,0—76,0	20,0	—
<i>Oocystis submarina</i>	50,0—176,0	26,5	4,2—38,0
<i>Coelastrum sphaericum</i>	40,0—70,0	24,0	6,5—9,3
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	92,4	49,2	—
<i>Micractinium quadrisetum</i>	42,0—120,0	—	21,0—27,5
Криptomonадные			
<i>Cryptomonas ovata</i>	168,0	—	6,2—20,0
<i>Ochromonas ovata</i>	30,0	—	—
Эвгленовые			
<i>Thrachelomonas volvocina</i>	441,0	20,0	25,0

Особенности метаболизма у микроводорослей.

3. Уникальный биохимический состав.

Фитогормоны

В клетках микроводорослей и экзометаболитах обнаружены многие фитогормоны и подобные им вещества неустановленной химической природы. В отличие от высших растений микроводоросли способны синтезировать ауксин и гиббереллины в концентрации на несколько порядков выше чем цветковые растения. В клетках обнаружено до 5 биологически активных веществ индольной природы. Наиболее широко распространена β -индолил-уксусная кислота (ИУК), индолил-3-уксусная кислота, а также инлолил-ацето-нитрил и индорлил-ацетоэтил.

Например, в клетках хлореллы ИУК содержится 5-50 мкг/г сухой массы,

У хлореллы самой высокой ауксиновой активностью обладают автоспоры.

Особенности метаболизма у микроводорослей.

3. Уникальный биохимический состав.

Микроэлементы

В состав биомассы микроводорослей входят микроэлементы:

- | | |
|--------------|---------------|
| 1. Бор; | 8. Кобальт; |
| 2. Марганец; | 9. Хром; |
| 3. Цинк; | 10. Никель; |
| 4. Медь; | 11. Вольфрам; |
| 5. Молибден; | 12. Титан; |
| 6. Ванадий; | 13. Йод. |
| 7. Селен; | |

Микроэлементы включены в состав фотосинтетического аппарата микроводорослей, а также являются активным центром многих ферментов (коферментами).

Наиболее важным является то, что **микроэлементы** в составе биомассы микроводоросле находятся **в органической форме**

Химический состав биомассы хлореллы

Наименование вещества	Содержание, %
Сырой протеин, %	50,3
Сырой жир, %	14,3
Сырая клетчатка, %	1,3
Сырая зола, %	8,7
Витамины, мкг/г а.с.в.:	
каротин	380
В ₁	5,3
В ₂	21,8
В ₆	10,3
РР	132,4
Е	201,7
Минеральные вещества, г/кг	
кальций	8,1
фосфор	4,2
железо	40,4
марганец	3,9
медь	28,1
цинк	4,2

Химический состав биомассы спирулины

Composition ^a	per 100 g	Composition ^a	per 100 g
1. <i>Macronutrients</i>		2. <i>Vitamins</i>	
Calories	373	Vitamin A (as 100% β -carotene) ^b	352,000 IU
Total fat	4.3 g	Vitamin K	1090 mcg
Saturated fat	1.95 g	Thiamine HCl (Vitamin B1)	0.5 mg
Polyunsaturated fat	1.93 g	Riboflavin (Vitamin B2)	4.53 mg
Monounsaturated fat	0.26 g	Niacin (Vitamin B3)	14.9 mg
Cholesterol	<0.1 mg	Vitamin B6 (Pyridox. HCl)	0.96 mg
Total carbohydrate	17.8 g	Vitamin B12	162 mcg
Dietary fiber	7.7 g	3. <i>Minerals</i>	
Sugars	1.3 g	Calcium	468 mg
Lactose	<0.1 g	Iron	87.4 mg
Protein ^b	63 g	Phosphorus	961 mg
		

Микроводоросли – корм для животных

В животноводстве практически во всех сферах микроводоросли применяются в качестве корма. Причем, используется не только сама биомасса, как источник полезных веществ, но и культуральная среда, которая содержит продукты метаболизма водорослей (более 310 химических соединений): полисахариды, амины, органические кислоты и пр.

Микроводоросли используют в рационе для:

1. Крупного рогатого скота;
2. Свиней;
3. Кролей;
5. Овец;
4. Птицы;
6. Рыбы;
7. Насекомых (пчелы, тутовый шелкопряд);
8. Американской норки;
9. Моллюсков;
10. Зоопланктона (артемии, коловратки, дафнии и др.)

Кроме пищевой ценности биомасса микроводорослей обладает бактерицидными, иммунологическими свойствами

Механизм действия кормов на основе микроводорослей

При использовании в рационе животных суспензию микроводорослей кроме «строительных» органических соединений животные получают целый ряд биологически активных веществ, которые оказывают стимулирующий эффект.

**Скорость роста
массы животных**

= прибыль – убыль

**Скорость образование
новой массы**

Микроэлементы
Орг. Кислоты
Витамины
Сахара
и пр.

Полисахариды
Антибиотики

↑ ↑ ↑
Бактерии
Вирусы

↑ ↑ ↑
Недостаток
питания

1. Скорость дыхания клеток

2. Скорость гибели клеток

Микроводоросли или синтетические премиксы?

В животноводстве широко используют биологически активные вещества искусственного происхождения. Однако множеством экспериментов показано, что у биологически активных веществ природного происхождения эффективность намного выше, чем у синтетических аналогов.

Объяснить это можно **наличием в синтетических аналогах оптических изомеров**, которые характеризуются малой активностью.

В клетках растений и животных биосинтез протекает строго в определённом направлении, в результате чего образуются только изомеры, необходимые в процессе жизнедеятельности. При химическом синтезе получение изомеров с требуемыми свойствами или их разделение является трудноосуществимой и дорогостоящей задачей

Наш опыт внедрения промышленных технологий производства биомассы микроводорослей

1. Общество ветеранов Афганистана, пос. Калиновка, Крым (1996 г.);
2. ООО «Новые технологии», «Виктория», «Агро-Виктория», г.Сочи. Россия. (1998-2012 гг.). Разработаны технологии производства биомассы спирулины с повышенным содержанием микроэлементов.
3. ООО СП «Альгофарм», г. Симферополь. (2000, 2001, 2002, 2003, 2004 гг.). Разработаны технологии производства биомассы спирулины в Крыму.
4. ООО «Таврида-Эко». г.Симферополь. (2001, 2002, 2003, 2004 гг.). Разработаны критерии оценки качества спирулины.
5. ООО «Ирианна». г. Афины, Греция, (2009-2011 гг.)
Разработка квазинепрерывной технологии производства биомассы спирулины на геотермальных водах.
6. ООО Меркурий II. г.Харьков, Украина (2009-2016 гг.)
Разработаны технологии производства биомассы «живой» спирулины

1996-2012 гг самое крупное предприятие в РФ Агро-Виктория, г. Сочи



Каскады бассейнов со спирулиной в Сочи.
Из нижнего бассейна суспензия насосом подается в верхний

Геворгиз Р.Г., и др., 2018

С 2010 г самое крупное предприятие в Греции
Ирриана, г. Серрес, г.Сидирокастро



ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
5 στρεμμάτων

Красные, зелёные, сине-зелёные

Интенсивная культура в промышленных масштабах



Сотрудниками лаборатории разработаны методы получения интенсивных культур микроводорослей различных систематических групп (красных, зеленых, цианобактерий и пр.) в промышленных масштабах.

Разработанные нами продукты на основе микроводорослей



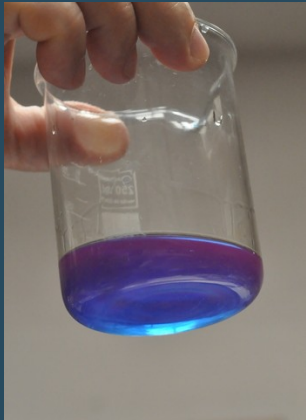
1. Сухая биомасса
спирулины



2. Замороженная
биомасса спирулины



3. Сырая биомасса в
форме оливок



4. Водный экстракт
фикоцианина



4. Водно-спиртовой
экстракт фикоцианина



5. Спирулина с
микроэлементами

Йод
Селен
Цинк
Железо
Марганец
Кобальт

Разработанные нами продукты на основе микроводорослей



6. Кисломолочные
продукты со спирулиной



7. Сахар с фикоцианином




8. Хлебобулочные изделия

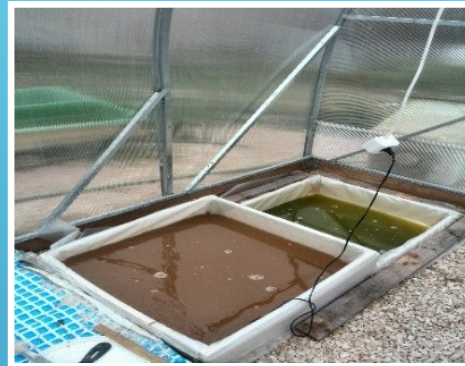
Достижения лаборатории

Список биотехнологии

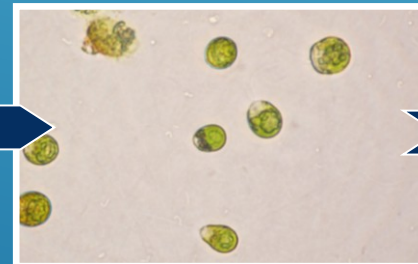
Уровень реализации

№	Наименование	Лаборатория	Полупромышленный	Промышленный
1.	Получение биомассы спирулины, дуналиеллы, хлореллы, цилиндротеки			
2.	Получение биомассы порфиридиума			
3.	Получение ценных веществ из биомассы			
4.	Получение живых обезвоженных культур			
5.	Получение биомассы с высоким содержанием йода, селена, железа и пр.			
6.	Доочистка сточных вод			

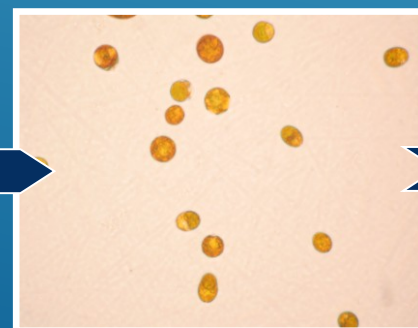
Апробация технологии культивирования *Dunaliella salina* в Крыму в полупромышленных условиях



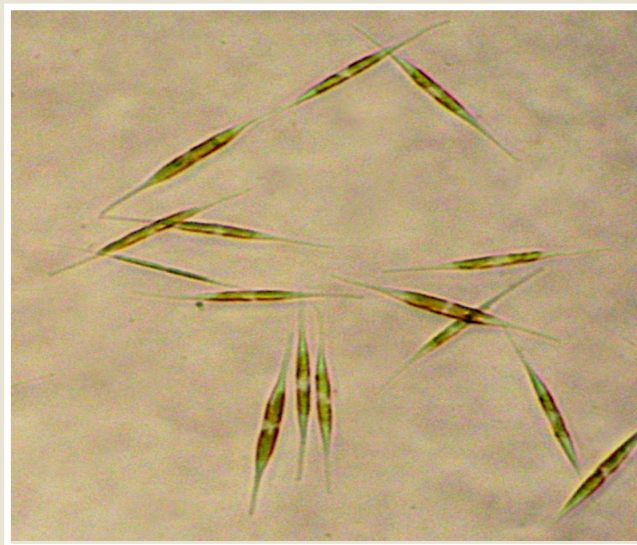
Стадия активного роста культуры и накопления хлорофилла



Стадия накопления каротиноидов



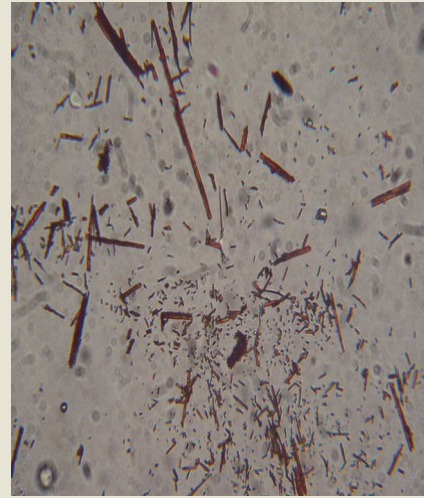
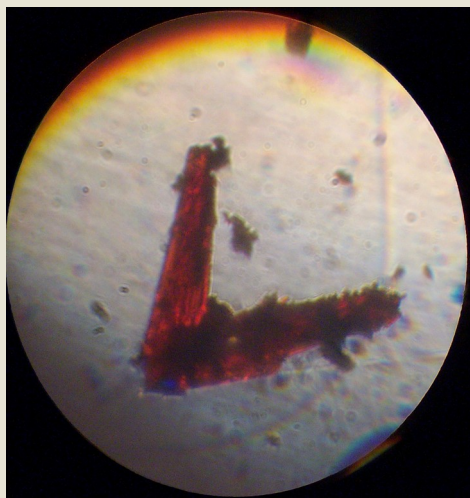
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУКОКСАНТИНА – МОРСКОГО ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО КАРОТИНОИДА



Клетки диатомовой водоросли
Cylindrotheca closterium



Общий вид промышленного газовихревого
фотобиореактора, объём 580 л



Кристаллы фукоксантина



Геворгиз Руслан Георгиевич

старший научный сотрудник,
кандидат биологических наук,
e-mail: r.gevorgiz@yandex.ru
Тел. +7 978 7758 035

